

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

①⑪ N° de publication :
(A n'utiliser que pour
le classement et les
commandes de reproduction).

2.199.453

②① N° d'enregistrement national
(A utiliser pour les paiements d'annuités,
les demandes de copies officielles et toutes
autres correspondances avec l'I.N.P.I.)

72.17527

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

1^{re} PUBLICATION

- ②② Date de dépôt 12 mai 1972, à 9 h 5 mn.
④① Date de la mise à la disposition du
public de la demande..... B.O.P.I. — «Listes» n. 15 du 12-4-1974.
- ⑤① Classification internationale (Int. Cl.) A 61 b 6/00//A 61 n 5/00.
- ⑦① Déposant : BUSSEY Francis Paul, résidant en France.
- ⑦③ Titulaire : *Idem* ⑦①
- ⑦④ Mandataire :
- ⑤④ Dispositif de refroidissement cutané pour la photothérapie et le photodiagnostic aux hauts
et très hauts niveaux lumineux.
- ⑦② Invention de : Francis Paul Bussey.
- ③③ ③② ③① Priorité conventionnelle :

L'invention intéresse en médecine humaine, la photothérapie et le photodiagnostic, utilisations thérapeutiques et diagnostiques de la lumière.

Dans ces domaines, la tendance actuelle est d'utiliser des niveaux lumineux toujours plus élevés. Cela est particulièrement vrai en transillumination par exemple; une des branches essentielles du photodiagnostic, où résolution et contraste obtenus avec des organes volumineux tels le sein, sont d'autant meilleurs que le diamètre de la zone illuminée est petit.

Or pour une bonne perception des faibles contrastes, il est indispensable que la luminance de l'image diaphanoscopique corresponde pour l'opérateur à des conditions de vision photopique. Pour réduire le diamètre de la zone cutanée illuminée à quelques millimètres, cela conduit à appliquer des niveaux lumineux de l'ordre de 10 à 100 millions de lux, même avec un spectre réduit à la bande du visible la moins absorbée par les tissus. Toute l'énergie lumineuse non transmise ni diffusée est dégradée en chaleur. L'échauffement des tissus est d'autant plus grand que la profondeur est faible et suit une loi exponentielle complexe dont l'expression mathématique est d'ailleurs encore imparfaitement définie. Avec les techniques actuelles des niveaux supérieurs à 1 ou 2 millions de lux ne sont pas tolérés sur la peau plus de quelques secondes, voire fractions de secondes. Cette limitation restreint l'efficacité de la photothérapie et oblige à augmenter le diamètre éclairé en photodiagnostic, d'où perte de résolution.

La concentration essentiellement superficielle de cet effet thermique permet d'envisager un refroidissement forcé de la zone cutanée éclairée, d'autant qu'une absorption importante est due à l'irrigation capillaire sur laquelle le froid exerce une action vasoconstrictive favorable à la transmission lumineuse. Mais le gain en dissipation admissible est faible, à moins d'utiliser un fluide de refroidissement à très basse température, ce qui n'est pas dépourvu de risque et en tous cas désagréable pour le patient.

L'invention proposée évite ces inconvénients et vise à permettre l'application locale sur la peau, durant des périodes prolongées, de niveaux lumineux plusieurs fois supérieurs à ceux normalement tolérés. Elle fait de la sorte réaliser un progrès considérable tant à la photothérapie qu'au photodiagnostic.

Elle tire parti d'un certain nombre de réactions opto-physiologiques des tissus cutanés:

- a) en présence d'un refroidissement cutané, le niveau lumineux indéfiniment toléré sur la peau est beaucoup plus élevé si ce
5 refroidissement s'exerce sur une zone de diamètre plusieurs fois supérieur à celui de la plage illuminée, l'effet étant d'autant plus marqué que cette plage est petite.
- b) une compression par une surface rigide transparente de la zone illuminée provoque une occultation partielle de la vasculari-
10 sation superficielle conduisant à un gain de transparence complémentaire à celui de la vasoconstriction due au refroidissement. L'effet est à peine atténué si cette compression n'est localisé qu'à la limite extérieure de la zone refroidie, dans la mesure où
15 le diamètre de cette zone refroidie reste de l'ordre de 20 à 30 mm.
- c) un massage de la plage illuminée et de sa périphérie favorise l'entraînement par la circulation sanguine de la chaleur libérée dans les zones dermiques profondes et hypodermiques adjacentes.

L'invention réside en une série d'aménagements originaux d'un
20 éclairateur de photothérapie ou photodiagnostic classique et de système non critique. Elle s'applique aussi bien dans le domaine du visible que dans les domaines adjacents du proche infra-rouge ou ultra-violet. Ces dispositions sont les suivantes.

Les dimensions de la fenêtre de sortie de la lumière de cet
25 éclairateur sont choisies plusieurs fois supérieures à celles de la plage éclairée (Planche unique, figures 1 et 2, repères 1).

Le bord de cette fenêtre est taillé en saillie de plusieurs millimètres par rapport au corps de l'éclairateur, et constitué par une matière dure permettant la compression des tissus (métal par
30 exemple) et formant localisateur (Fig. 1 et 2, repères 2)

Une membrane, transparente dans le domaine spectral utilisé, ferme le localisateur (Fig. 1 et 2, repères 3). Cette membrane a pour rôle de séparer les tissus cutanés du fluide de refroidissement et de participer à leur compression tout en leur transmettant
35 le cas échéant un massage vibratoire. En conséquence elle est réalisée en un matériau mince et bon conducteur de la chaleur. De plus, tout en restant élastique elle doit présenter une certaine fermeté pour pouvoir contribuer à la compression des tissus. Celle-ci est obtenue indifféremment par sa rigidité propre ou par une
40 tension adéquate. De nombreuses matières depuis les verres jusqu'

aux polyesters, polycarbonates et autres résines macromoléculaires peuvent convenir à la constitution de cette membrane.

Un revêtement dichroïde sélectif formant filtre interférentiel peut être appliqué sur la membrane pour sélectionner la bande spectrale pénétrant dans les tissus.

La face de cette membrane interne à l'éclaireur est soumise à un refroidissement énergétique par circulation d'un fluide liquide ou gazeux de température plus basse que celle de la peau et qui évacue à travers la membrane la chaleur libérée dans les tissus cutanés superficiels (fig. 1 et 2, repère 4)

L'association de ces 4 premiers moyens, fenêtre de dimension excédant celles de la plage illuminée et formant localisateur compresseur des tissus, membrane échangeuse thermique et refroidissement force des tissus superficiels à travers cette membrane, permet avec un refroidissement par de l'eau à 25° C seulement de supporter sur la peau des intensités lumineuses de l'ordre de 10 millions de lux, soit déjà quelque 5 à 10 fois supérieures à la limite tolérable sans ces dispositifs. Avec des températures du fluide de refroidissement plus basses un gain plus élevé encore peut être réalisé.

Le fluide ayant refroidi les tissus à travers la membrane est avantageusement recupéré pour le refroidissement des autres organes de l'éclaireur. Les fig. 1 et 2, repères 5 donnent deux exemples d'une telle récupération. De plus dans le cas d'un liquide, l'addition d'un colorant adéquat lui permet de jouer accessoirement le rôle de filtre sélecteur de la bande spectrale admise dans les tissus.

Dans le cas particulier d'un fluide gazeux, l'épiderme lui-même peut remplir l'office de membrane échangeuse (membrane virtuelle), surtout s'il s'agit d'un gaz peu onéreux et pouvant sans inconvénients s'échapper à l'atmosphère (air comprimé par exemple). Dans ce cas également, le refroidissement de ce fluide pourra être obtenu par détente immédiatement au voisinage de la membrane ou de l'épiderme de ce gaz amené sous haute pression.

Les tissus cutanés présentent une résistance thermique relativement élevée, de sorte que l'efficacité du refroidissement superficiel décroît plus vite avec la profondeur que l'échauffement dû à la dégradation en chaleur de l'énergie lumineuse absorbée. Même en abaissant la température du fluide de refroidissement au voisinage de 0° C, limite qu'il est dangereux de dépasser

ser de beaucoup, si l'intensité lumineuse continue à croître, il vient un moment où dans les zones dermiques profondes et hypodermiques adjacentes, l'élévation de température dépasse le seuil tolérable.

- 5 Or dans ces zones où le froid n'exerce plus d'action vasoconstrictive et où la compression elle-même en raison de l'élasticité des tissus n'a plus guère d'effet, un massage vigoureux et rapide favorise la circulation sanguine qui évacue une fraction importante des calories libérées par l'absorption de la lumière.
- 10 Il permet donc d'élever encore les niveaux lumineux et d'approcher les 100 millions de lux. En photothérapie cela assure des traitements plus efficaces, en photodiagnostic cela autorise des diamètres illuminés plus petits, d'où meilleure résolution sans que la luminance image soit abaissée.

- 15 Exercé sur la périphérie du localisateur, ce massage n'a qu'une efficacité réduite. Celle-ci n'est optimale que si c'est la zone illuminée et son entourage immédiat, c'est à dire en pratique l'intérieur du localisateur qui sont soumis au massage.

- Manuellement, cet effet peut être obtenu par des mouvements
- 20 axiaux du localisateur. Mais la faible cadence réalisable n'assure qu'une efficacité modeste. L'impression mécanique ou électromécanique de mouvements vibratoires axiaux à l'ensemble du localisateur apporte une amélioration importante de l'efficacité, mais présente l'inconvénient de transmettre des vibrations de
- 25 grande amplitude à la main de l'opérateur ce qui à la longue risque d'être traumatisant. Cet inconvénient disparaît si les vibrations sont imprimées à la seule membrane et c'est pourquoi elle doit présenter une certaine élasticité.

- Plutôt que de recourir à un ébranlement mécanique de la
- 30 membrane, l'invention tire parti de l'observation suivante: le débit du fluide de refroidissement exerce une pression, c'est à dire une force, sur la membrane. En faisant varier ce débit, cette force varie également. Opposée à l'élasticité de la membrane, elle se traduit donc par des déformations variables de la membrane.
- 35 Par conséquent en modulant périodiquement le débit du fluide de refroidissement, la membrane est le siège de vibrations périodiques synchrones qui assurent le massage cutané recherché. En faisant varier la fréquence il est possible selon les tissus traités ou explorés d'obtenir un régime d'ondes stationnaires ou
- 40 progressives, voire de résonance, selon le but recherché.

La modulation du débit de fluide refroidisseur peut être obtenue par exemple par variation de la section de ses conduits d'arrivée ou d'évacuation.

La membrane en se bombant tantôt vers l'intérieur, tantôt vers l'extérieur du localisateur, sous l'influence de la modulation, constitue avec le fluide de refroidissement un dioptre tantôt positif, tantôt négatif. L'effet est d'autant plus prononcé que l'indice de réfraction du fluide est plus élevé. Il est sans inconvénient en photothérapie. En Photodiagnostic ses répercussions sur contraste et résolution sont imperceptibles, ces paramètres variant peu pour des variations modérées de l'angle de vergence du faisceau lumineux. Pour éviter par contre que contraste et résolution ne soient dégradés par des variations du diamètre de la plage illuminée liées aux déplacements de la membrane dans un faisceau lumineux cône, il est prévu que pour le photodiagnostic, l'optique de l'éclaireur forme l'image de la source lumineuse dans le plan de la membrane au repos (fig. 1, faisceau divergent) ou à l'infini (fig. 2, faisceau parallèle). De cette manière la membrane ne se déplace que dans une zone cylindrique ou quasi cylindrique du faisceau lumineux.

Les systèmes optiques schématisés en fig. 1 et 2 sont extérieurs à l'invention et donnés simplement à titre d'exemple. Toutes autres combinaisons optiques conduisant aux mêmes résultats sont utilisables; en particulier les dispositifs à émission stimulée dits "lasers" pourront présenter un vif intérêt le jour où ils seront réalisables à des puissances élevées sous un faible encombrement.

Aux niveaux moyens de l'ordre de 10 millions de lux, il peut être renoncé au vibromassage décrit plus haut. La caractéristique de souplesse de la fenêtre membrane échangeuse thermique est alors superflue et il peut y être renoncé. La membrane dans ce cas particulier pourrait sans inconvénient être constituée d'une matière rigide, pourvu qu'elle possède les autres qualités requises à savoir transparence dans le domaine spectral utile et bonne conductivité thermique.

Les très hauts niveaux lumineux autorisés par l'invention ouvrent de nouveaux horizons aussi bien en photothérapie qu'en photodiagnostic. En photothérapie en particulier, des travaux encore en cours semblent démontrer une action favorable sur certaines mycoses ainsi que sur quelques types de tumeurs des téguments,

alors que des niveaux de l'ordre du millions de lux généralement bien tolérés sans refroidissement cutané, auraient une influence plutôt défavorable sur les mêmes affections.

En photodiagnostic, et plus particulièrement en diaphanoscopie par transillumination, les très hauts niveaux lumineux autorisés par l'invention font faire un progrès considérable à ces disciplines en permettant de réduire de 10 à 100 fois la surface de la plage illuminée tout en conservant la même luminance de l'image diaphanoscopique. Il en résulte un important gain en résolution, c'est à dire que des structures opaques de plus petite dimension peuvent être décelées à un niveau donné d'un organe d'une épaisseur donnée. Au prix d'une réduction un peu moindre de la surface illuminée, c'est la luminance de l'image diaphanoscopique qui réalise un gain en luminance, facilitant l'introduction de la diaphanoscopie dans les méthodes diagnostiques de routine.

REVENDICATIONS

- 1) la présente invention se rapporte à un perfectionnement des éclaireurs de photothérapie et de photodiagnostic classiques par l'adjonction d'un dispositif de refroidissement cutané permettant de supporter sur la peau des niveaux lumineux très élevés. Elle revendique la protection de ses caractéristiques techniques principales, à savoir:
- a) dimensions de la fenêtre de l'éclaireur débordant largement celles de la plage illuminée
 - 10 b) rebord en saillie de plusieurs millimètres, réalisé en matière dure, limitant la périphérie de la fenêtre de l'éclaireur et formant localisateur.
 - c) membrane mince, transparente dans le domaine spectral utile, bonne conductrice de la chaleur, ferme avec éventuellement une
 - 15 certaine souplesse ou élasticité, obturant le localisateur et permettant avec lui la compression des tissus
 - d) refroidissement de la face de la membrane intérieure à l'éclaireur par circulation d'un fluide de température inférieure à 37°C.
 - 2) l'invention revendique d'autre part la protection de ses caractéristiques secondaires optionnelles qui dans divers cas particuliers valorisent ses caractéristiques principales, soit:
 - 20 e) possibilité de récupérer le fluide ayant servi au refroidissement de la membrane et à travers elle les tissus cutanés, pour assurer celui des autres organes de l'éclaireur
 - 25 f) possibilité d'adjoindre un colorant au fluide refroidisseur dans le cas d'un liquide, pour lui faire jouer le rôle d'un filtre optique sélecteur de bande
 - g) possibilité de déposer une couche dichroïde formant filtre interférentiel sélecteur de bande sur la membrane
 - 30 h) possibilité de faire jouer à l'épiderme lui-même le rôle de membrane échangeuse dans le cas d'un fluide de refroidissement gazeux pouvant sans inconvénient s'échapper à l'atmosphère
 - i) possibilité avec un refroidissement par fluide gazeux d'en obtenir le refroidissement par détente à proximité immédiate de
 - 35 la membrane
 - 3) l'invention revendique en outre la possibilité qu'elle offre de reculer plus loin encore les limites de la tolérance cutanée aux forts niveaux lumineux en associant un vibro-massage au simple refroidissement cutané, et ce par les moyens suivants:

- j) attribution d'une certaine élasticité à la membrane
- k) transmission d'un vibromassage aux tissus par déformations périodiques de la membrane.
- l) obtention de ces déformation par modulation du débit de fluide de refroidisseur.
- 5 m) réglage optique du faisceau lumineux de manière à pallier les inconvénients que pourraient avoir les déformations et déplacements de la membrane, ce réglage consistant soit en une focalisation de l'image de la source lumineuse dans le plan de la membrane au repos, soit en la réalisation d'un faisceau lumineux parallèle de diamètre adéquat.
- 101 4) l'invention revendique également protection des applications nouvelles qu'autorisent les hauts niveaux lumineux qu'elle rend applicables, soit en photothérapie le traitement de diverses dermatoses ou tumeurs cutanées, en photodiagnostic, la diaphanoscopia par transillumination à haute résolution d'organes épais tel le sein, par application de niveaux lumineux très élevés, entre 2 et 100 millions de lux, avec des diamètre éclairés réduits de l'ordre de quelques centimètres, jusqu'au voisinage du millimètre pour les niveaux les plus élevés.
- 15
- 20

BAD ORIGINAL

Figure 1

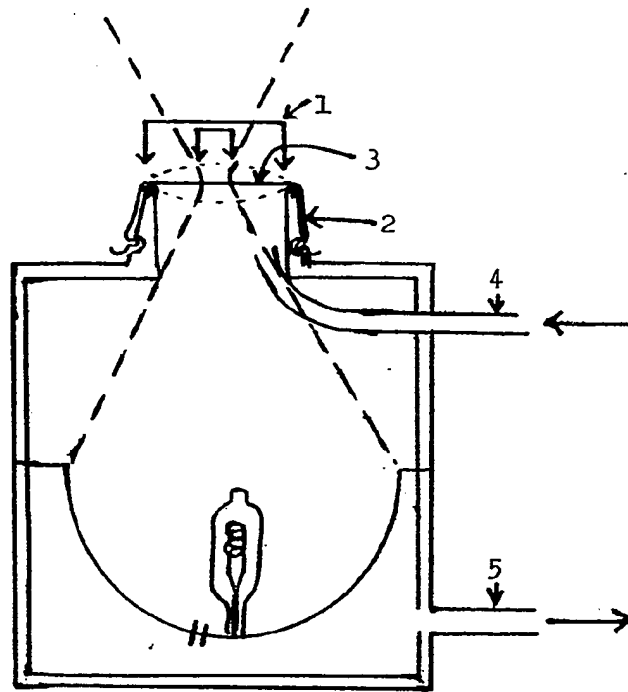


Figure 2

